

# 基于网络分析仪的不可插入器件测试方法研究

*The Measurement Method Based on the PNA for the Non-Insertable Device*

李健一 刘冬冬

(中国人民解放军92493部队89分队,辽宁葫芦岛125000)

**摘要:**利用矢量网络分析仪对各类微波元器件S参数进行测量时,可通过全二端口SOLT校准(短路、开路、负载、直通)彻底消除系统误差,实现高精度测量。但该校准技术只适用于插入式器件,无法满足现实工作中大量应用的不可插入式器件S参数的精确测量。针对上述问题,提出了三种针对不可插入器件的精确测量方法,并给出了详细的测量过程。

**关键词:**不可插入器件;矢量网络分析仪;校准;系统误差

## 1 引言

利用矢量网络分析仪测量各种微波元器件S参数时,由于网络分析仪测量精度受其本身存在的泄漏、频响和测试电缆、适配器等因素的影响,会导致一定的测量不确定性,降低测量精度。矢量网络分析仪在校准过程中,利用合理的数学算法得到源匹配、反射跟踪、串扰、传输跟踪和负载匹配等12项系统误差,存储在仪器的存储器中并对测量结果进行误差修正,从而实现对各类微波元器件S参数的精确测量。

目前,被广泛应用的各类微波元器件种类繁多,按照其接头形式可分为可插入式和不可插入式器件两种。可插入器件的两个端口接头形式相同,但极性相反;不可插入器件两端的接头形式相同,但极性也相同或两端接头形式不同。

对可插入器件进行S参数测试之前,可直接对矢量网络分析仪进行SOLT校准;而对于不可插入器件来说,要想完成对矢网的全二端口校准,需要相应的适配器才能连接矢网的两个测试端口,由于连接了适配器,必然引入相应的误差,导致测量精度下降。为解决上述问题,实现对不可插入器件S参数的精确测量,结合检定工作实际情况,提出了三种针对不可插入器件精确测量的方法。

## 2 不可插入器件的精确测量方法

文中介绍的三种测量方法,均以被测件为双端口N型(阳-阳)适配器,矢量网络分析仪的两个测试端口为N型(阴-阳)为例说明,其他类型的不可插入器件的测试过程可参照进行。

### 2.1 等同适配器交换法

该方法要求配备两个完全匹配的适配器A和B,为了实现等效互换,适配器必须有相同的匹配性能、特性阻抗、插入损耗和电延迟。测试过程如图1~图4所示。

首先用适配器A(N型阴-阳)对矢量网络分析仪进行直通校准,然后去除适配器A,将适配器B(N型阳-

阳)连接至端口2,由于适配器B与A具有相同的特性阻抗、插入损耗和电延迟,因此可以认为,矢网已经消除了适配器B引入的传输误差,所以在对1端口和连有适配器B的2端口进行反射校准(开路、短路、负载校准)之后,便完成了对矢量网络分析仪的校准,然后就可以对被测件进行测量了。由于实际中匹配特性完全相同的两个器件是不存在的,如果这两个适配器的匹配特性参数相差很大的话,会导致很大的测量结果偏差,因此测量精度也是文中介绍的三种方法中最低的。

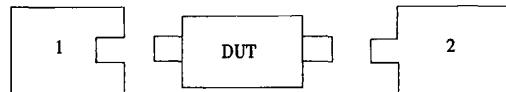


图1 被测件为不可插入器件

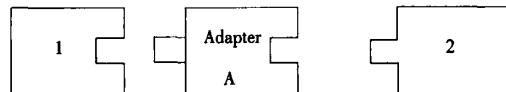


图2 利用转接头A进行直通校准

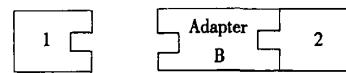


图3 利用匹配转接头B对矢网进行反射校准(开路、短路、负载)

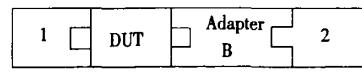


图4 对被测件S参数进行测试

### 2.2 未知直通法

未知直通法校准利用一个未知匹配特性的适配器来进行直通校准,这种方法的优点在于不必知道所选择的适配器的匹配特性,利用矢量网络分析仪校准技术,测量、计算该未知适配器的损耗和延迟引入的误差,保存在网络分析仪内,并对测量结果进行有效地修正,从而实现对不可插入器件的精确校准。该方法精度较高,且校准过程操作简单。

首先将矢网的 2 端口(N 型阳)连接一个 N 型阴 - 阴适配器, 将连接后的端口 2 作为真正的测试端口。然后, 选择矢网的校准功能键, 选择 Calibration Wizard 菜单下的 SmartCal(Guided Calibration)功能 如图 5 所示, 按提示选择被测件端口数和接头形式, 并选择相应的校准件型号, 如图 6 所示。



图 5

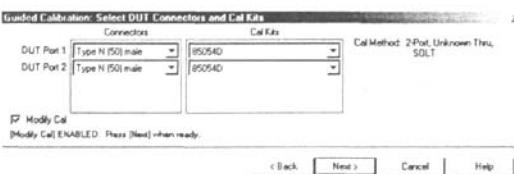


图 6

在本例中两端均为 N 型接头, 所以选择 N 型校准件 85054D, 勾选 Modify Cal, 点击 Next, 则出现图 7 所示界面, 选择 Unknown Thu 校准方式进行校准, 分别对端口 1、2 进行开路、短路、负载校准, 然后利用未知的 N 型(阳 - 阳)适配器进行直通校准, 校准完成后, 弹出适配器延迟时间对话框, 如图 8 所示, 对话框中为网络分析仪计算未知适配器的延迟时间, 也可以自己对延迟时间进行计算, 延迟时间 = 被测件物理长度 / 光速, 将计算结果输入到对话框中或直接点击 OK, 矢网将会自动保存, 在 S 参数测量过程中, 矢网将自动对测量结果进行修正, 实现对不可插入器件的精确测量。

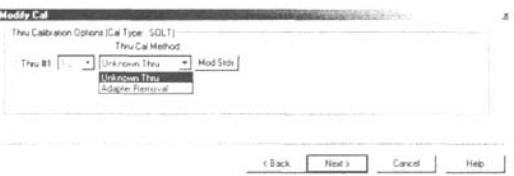


图 7

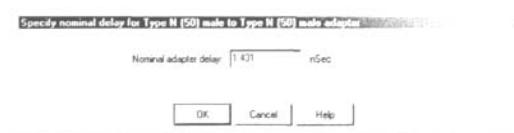


图 8

### 2.3 适配器移除法

适配器移除法是对测试端口进行两次全二端口校准, 因此可以彻底去除适配器引入的误差, 可实现对不可插入器件最精确的测量。

校准的步骤同未知直通校准方法, 勾选 Modify Cal, 点击 Next 后, 在下拉菜单中选择 Adapter Removed 方式, 按照提示对矢量网络分析仪进行校准。首先用阴 - 阴的 N 型适配器(注意这个适配器不是本方法中定义的要去除的适配器, 而是连接后形成矢网的真正的测试端面)与矢网测试端口 2 相连; 然后按照矢网的提示, 将一个阳 - 阳的 N 型适配器与端口 1 相连, 并对此时的端口 1 和 2 进行全二端口校准, 校准完成后, 再将这个阳 - 阳的 N 型适配器卸下与连有阴 - 阴适配器的端口 2 相连, 再次对端口 1、2 进行全二端口校准, 校准完成后, 矢网会对适配器的电长度作出估计并计算出延迟时间, 会弹出如图 8 所示的界面, 与未知直通法计算延迟时间的方法相同, 将计算得到的延迟时间输入对话框中或直接点击 OK, 完成校准过程, 然后去除阳 - 阳的 N 型适配器, 便可直接对被测件进行 S 参数的测试了。矢网在测试过程中会自动修正测量结果, 完成不可插入器件 S 参数的精确测量。

### 3 三种校准方法的比较

等效适配器替换法, 操作最简单, 但需要两个性能精确匹配的适配器, 存在由于两个适配器的不完全匹配所引入的误差。该方法由于需要配备多个适配器, 增加了成本, 这在精度要求高的场合不太适用。适配器移除法, 校准过程最全面, 测量结果也最精确, 但要进行两次全二端口校准, 校准过程繁琐, 一般用在需要精确测量的场合。未知直通校准法由于只需引入未知特性的适配器, 对器件的匹配特性要求低, 而且只需进行一次全二端口校准, 校准过程简便, 而且测量精度高, 因此, 推荐使用未知直通校准法校准。

### 4 结论

针对矢量网络分析仪无法实现对不可插入器件进行精确测量的问题, 提出了三种基于矢量网络分析仪的不可插入器件的精确测量方法。三种方法各有利弊, 实际测量不可插入器件时, 可根据实际情况和测量精度要求选择合适的测量方法。

### 参考文献

- [1] 冯新善. 无线电基本参数[M]. 北京: 中国计量出版社, 1987.
- [2] 王琦. 现代矢量网络分析仪的校准与测量. 实验室技术与管理, 2006, 23(2): 31 - 34.
- [3] 董树义. 近代微波测量技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995.
- [4] J. M. BYRD & F. CASPERS. SPECTRUM AND NETWORK ANALYZERS.
- [5] PNA Help. Agilent. 2007.

作者简介: 李健一, 男, 助理工程师。工作单位: 辽宁省葫芦岛市 92493 部队 89 分队。通讯地址: 125000 辽宁省葫芦岛市 92493 部队 89 分队。

刘冬冬, 92493 部队 89 分队(葫芦岛 125000)。

收稿时间: 2009 - 12 - 29

## 微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，推出多套微波射频以及天线设计培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>

---

### 微波射频测量仪器操作培训课程合集



搞硬件、做射频，不会仪器操作怎么行！对于射频工程师和硬件工程师来说，日常电路设计调试工作中，经常需要使用各种测试仪器量测各种电信号来发现问题、解决问题。因此，熟悉各种测量仪器原理，正确地使用这些测试仪器，是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能，该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟悉掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

---

### 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器；该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装，包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材，能够帮助微波、射频工程师快速地熟悉掌握矢量网络分析仪使用操作…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>

---



### 示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器，因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解，也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解，能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>